

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
23. August 2001 (23.08.2001)

PCT

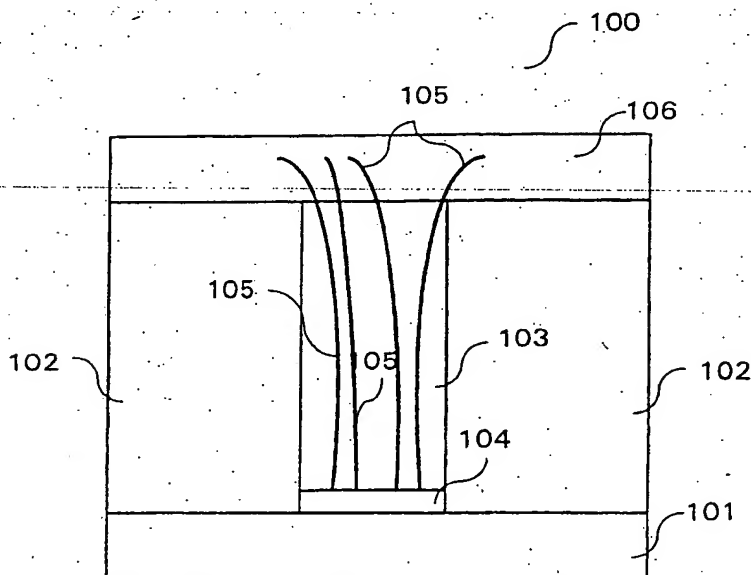
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 01/61753 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: H01L 23/498, D01F 9/12
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE01/00419
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
2. Februar 2001 (02.02.2001)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
100 06 964.9 16. Februar 2000 (16.02.2000) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): INFINEON TECHNOLOGIES AG [DE/DE]; St.-Martin-Strasse 53, 81669 München (DE).
- (72) Erfinder; und  
(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): ENGELHARDT, Manfred [DE/DE]; Edelweissstrasse 1A, 83620 Feldkirchen-Westerham (DE). HÖNLEIN, Wolfgang [DE/DE]; Parkstrasse 8A, 82008 Unterhaching (DE). KREUPL, Franz [DE/DE]; Müllerstrasse 43, 80469 München (DE).
- (74) Anwalt: VIERING, JENTSCHURA & PARTNER; Postfach 22 14 43, 80504 München (DE).
- (81) Bestimmungsstaaten (national): JP, KR, US.
- (84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE, TR).
- Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: ELECTRONIC COMPONENT COMPRISING AN ELECTRICALLY CONDUCTIVE CONNECTION CONSISTING OF CARBON NANOTUBES AND A METHOD FOR PRODUCING THE SAME

(54) Bezeichnung: ELEKTRONISCHES BAUELEMENT MIT EINER ELEKTRISCH LEITENDEN VERBINDUNG AUS CARBON-NANORÖHREN UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG



(57) Abstract: The invention relates to an electronic component comprising a first conductive layer, a non-conductive layer and a second conductive layer. A hole is etched through the non-conductive layer. A nanotube, which is provided in said hole, links the first conductive layer to the second conductive layer in a conductive manner.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 01/61753 A1



— vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen eintreffen

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Ein elektronisches Bauelement weist eine erste leitende Schicht, eine nicht-leitende Schicht sowie eine zweite leitende Schicht auf. Durch die nicht-leitende Schicht ist ein Loch geätzt. In dem Loch ist eine Nanoröhre vorgesehen, durch die die erste leitende Schicht mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.

## Beschreibung

## ELEKTRONISCHES BAUELEMENT MIT EINER ELEKTRISCH LEITENDEN VERBINDUNG AUS CARBON-NANORÖHREN UND VERFAHREN ZU SEINER HERSTELLUNG

5

Die Erfindung betrifft ein elektronisches Bauelement, ein Verfahren zum Herstellen einer leitenden Verbindung in einem elektronischen Bauelement und ein Verfahren zum Herstellen eines elektronischen Bauelements.

Es ist üblich, in einem elektronischen Bauelement, welches in integrierter Bauweise ausgestaltet ist, zwei leitende Schichten, die durch eine nicht-leitende Schicht elektrisch isoliert sind, miteinander elektrisch leitend zu verbinden, indem durch die nicht-leitende Schicht ein Loch geätzt wird. Das Loch wird mit Metall aufgefüllt, wodurch eine metallische Durchkontaktierung erzeugt wird, die die beiden leitenden Schichten miteinander elektrisch leitend verbindet.

20

Ein Nachteil dieser Vorgehensweise ist darin zu sehen, dass insbesondere bei abnehmenden lateralen Abmessungen, d.h. bei abnehmendem Durchmesser eines Kontaktlochs durch die nicht-leitende Schicht und bei zunehmender vertikaler Ausdehnung bzw. zumindest bei zunehmendem Aspektverhältnis, das vollständige Auffüllen des Kontaktlochs mit Metall problematisch und fehlerbehaftet ist. Insbesondere kommt es häufig zu einer Verstopfung im oberen Bereich des Kontaktlochs durch das abgeschiedene Metall, wodurch verhindert wird, dass das gesamte Kontaktloch mit Metall gefüllt wird. Somit kann häufig keine elektrisch leitende Verbindung zwischen den beiden leitenden Schichten erzeugt werden. Zudem führt ein unvollständig gefülltes Kontaktloch zu Zuverlässigkeitsproblemen.

Ein weiterer Nachteil der bekannten Vorgehensweise ist darin zu sehen, dass bei einem Kontaktloch mit einem sehr geringen Aspektverhältnis die Leitfähigkeit der metallischen Durchkon-

taktierung stark abnimmt, d.h. die metallische Durchkontaktierung stellt ein in erheblicher Weise begrenzendes Element für die Skalierung eines Metallisierungssystems und damit einer integrierten Schaltung dar, bei denen es erforderlich ist, in vertikaler Richtung eines elektronischen Bauelements mehrere leitende Schichten miteinander durch nicht-leitende Schichten hindurch elektrisch leitend zu verbinden.

Weiterhin sind aus [1] Grundlagen über sogenannte Carbon-Nanoröhren als ein sehr leitfähiges Material, deren Leitfähigkeit die Leitfähigkeit von Metall gleicher Abmessung stark übersteigt, bekannt.

Aus [2] ist ein Verfahren bekannt, um Carbon-Nanoröhren in einer perforierten Dialuminiumtrioxid-Matrix ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Matrix) selbstjustiert aufzuwachsen.

Somit liegt der Erfindung das Problem zugrunde, eine leitende Verbindung in einem elektronischen Bauelement zu schaffen sowie ein elektronisches Bauelement mit einer leitenden Verbindung zwischen zwei leitenden Schichten, die durch eine nicht-leitende Schicht voneinander isoliert sind, bei dem das Erzeugen einer leitenden Verbindung selbst bei Löchern mit einem sehr großen Aspektverhältnis möglich wird.

Das Problem wird durch ein elektronisches Bauelement, durch ein Verfahren zum Herstellen einer leitenden Verbindung in einem elektronischen Bauelement und durch ein Verfahren zum Herstellen eines elektronischen Bauelements mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Patentansprüchen gelöst.

Ein elektronisches Bauelement weist eine erste leitende Schicht, eine nicht-leitende Schicht auf der ersten leitenden Schicht sowie eine zweite leitende Schicht auf der nicht-leitenden Schicht auf. In der nicht-leitenden Schicht ist mindestens ein Loch vorgesehen, das durch die nicht-leitende Schicht vollständig hindurchtritt. In dem Loch ist mindestens

eine Nanoröhre enthalten, durch die die erste leitende Schicht mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.

- 5 Bei einem Verfahren zum Herstellen einer leitenden Verbindung in einem elektronischen Bauelement wird über einer ersten leitenden Schicht eine nicht-leitende Schicht abgeschieden. Durch die nicht-leitende Schicht wird ein Loch gefertigt und in dem Loch wird mindestens eine Nanoröhre aufgewachsen. Eine  
10 zweite leitende Schicht wird anschließend abgeschieden derart, dass die erste leitende Schicht durch die Nanoröhre mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.

- Bei einem Verfahren zum Herstellen eines elektronischen Bauelements wird in einem ersten Schritt eine erste leitende  
15 Schicht bereitgestellt. Über der ersten leitenden Schicht wird eine nicht-leitende Schicht abgeschieden und durch die nicht-leitende Schicht wird ein Loch gefertigt, beispielsweise geätzt. In dem Loch wird mindestens eine Nanoröhre aufgewachsen und es wird eine zweite leitende Schicht derart abge-  
20 schieden, dass die erste leitende Schicht durch die Nanoröhre mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.

- Durch die Erfindung wird es möglich, selbst bei Kontaktlöchern mit sehr geringem Durchmesser und großem Aspektverhältnis eine zuverlässige elektrisch leitende Verbindung zwischen  
25 zwei leitenden Schichten zu schaffen, die durch eine nicht-leitende Schicht an sich elektrisch entkoppelt sind. Die leitenden Schichten können beispielsweise jedes metallisch leitende Material sein, wie z.B. Kupfer, Aluminium, Silber,  
30 etc., wobei die leitfähigen Schichten üblicherweise eine Haft-, Diffusions- und Antireflexionsschicht, aufweisend beispielsweise Ti, TiN, Ta, TaN, und/oder eine Kombination dieser Materialien, aufweisen kann. Die elektrisch nicht-  
35 leitende Schicht kann ein Intermetalldielektrikum wie beispielsweise Siliziumoxid oder Siliziumnitrid oder eine andere isolierende Schicht aus organischem Material wie beispiels-

weise Polyimid oder eine beliebige Kombination davon, sein.  
Die elektrisch leitende Verbindung mittels mindestens einer  
Nanoröhre ist lediglich durch den Durchmesser einer solchen  
Nanoröhre, die bei einer sogenannten Carbon-Nanoröhre bei un-  
5 gefähr 1,5 nm Durchmesser liegt, begrenzt.

Das Herstellungsverfahren zeichnet sich durch seine Einfach-  
heit und Robustheit, d.h. durch eine geringe Fehleranfällig-  
keit aus und dadurch, dass zuverlässig eine elektrisch lei-  
10 tende Verbindung hergestellt wird.

Somit werden die elektronischen Bauelemente selbst bei sehr  
feinen Strukturen, d.h. bei geringem Durchmesser eines Kon-  
taktlochs, einfach und kostengünstig herstellbar.

15 Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den  
abhängigen Ansprüchen.

Die Nanoröhre ist gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung der  
20 Erfindung eine Carbon-Nanoröhre.

Eine solche Carbon-Nanoröhre ist sehr einfach und zuverlässig  
selbst in einem Kontaktloch mit geringem Durchmesser selbst-  
justiert herstellbar.

25 Weiterhin weist die Carbon-Nanoröhre eine sehr hohe Leitfä-  
higkeit auf, die die Leitfähigkeit selbst der besten metalli-  
schen Leiter, wie beispielsweise Kupfer oder Silber, bei  
gleichen Abmessungen erheblich übertrifft.

30 In einem solchen Kontaktloch können mehrere Nanoröhren,  
grundsätzlich eine beliebige Anzahl Nanoröhren, enthalten  
sein, um die beiden leitenden Schichten miteinander elek-  
trisch leitend zu verbinden.

35 Zur Beschleunigung des Wachstums der Nanoröhre ist in dem  
Kontaktloch über der ersten leitenden Schicht eine Bekei-

5 mungsschicht gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen, welche vorzugsweise für eine aufwachsende Nanoröhre katalytisch wirkende Metallpartikel aufweist, beispielsweise mit Metallpartikeln aus Nickel und/oder Eisen, und/oder Yttrium, und/oder Kobalt und/oder Platin.

Das Loch kann durch die nicht-leitende Schicht geätzt werden.

10 Auch wenn die im weiteren beschriebenen Ausführungsbeispiele jeweils ein Halbleiterelement beschreiben ist anzumerken, dass die Erfindung keineswegs auf ein Halbleiterelement beschränkt ist, sondern in jedem elektronischen Bauelement eingesetzt werden kann, bei dem es gilt, zwei durch eine nicht-  
15 leitende Schicht an sich elektrisch entkoppelte leitende Schichten leitend miteinander zu verbinden, unabhängig davon, ob es sich bei einer Schicht um eine Halbleiterschicht handelt oder nicht. Insbesondere eignet sich die Erfindung zum Einsatz im Rahmen einer integrierten Schaltung.

20 Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in den Figuren dargestellt und werden im weiteren näher erläutert.

Es zeigen

25 Figur 1 einen Querschnitt durch ein Halbleiterelement gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel;

30 Figuren 2a bis 2d Querschnitte durch ein Halbleiterelement, anhand denen die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung des in Figur 1 dargestellten Halbleiterelements erläutert wird;

35 Figur 3 einen Querschnitt durch ein Halbleiterelement gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figuren 4a bis 4c Querschnitte durch ein Halbleiterelement, anhand denen die einzelnen Verfahrensschritte zur

Herstellung des in Figur 3 dargestellten Halbleiterelements erläutert wird;

5 Figur 5 einen Querschnitt durch ein Halbleiterelement gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

Figuren 6a bis 6e Querschnitte durch ein Halbleiterelement, anhand denen einzelne Verfahrensschritte zur Herstellung des in Figur 5 dargestellten Halbleiterelements erläutert wird.  
10

#### Ausführungsbeispiel 1

15 Fig.1 zeigt ein erstes Halbleiterelement 100 gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel.

Das erste Halbleiterelement 100 weist eine erste leitende Schicht 101 aus Kupfer oder Aluminium auf mit einer Haft-,  
20 Diffusions- und Antireflexionsschicht, aufweisend beispielsweise Ti, TiN, Ta, TaN, und/oder eine Kombination dieser Materialien. Auf der ersten leitenden Schicht 101 ist eine nicht-leitende Schicht 102 aus einem Intermetall-dielektrikum, gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel  
25 aus Siliziumdioxid, abgeschieden.

In die nicht-leitende Schicht 102 ist ein Kontaktloch 103 geätzt, und am Boden des Kontaktlochs, d.h. auf der ersten leitenden Schicht 101 ist eine Bekeimungsschicht 104  
30 abgeschieden.

Die Bekeimungsschicht 104 ist eine Schicht aus katalytisch wirkenden Metallpartikeln beispielsweise aus Nickel, Eisen, Yttrium, Kobalt und/oder Platin. Die Bekeimungsschicht 104  
35 wirkt für das Aufwachsen einer Carbon-Nanoröhre katalytisch.

Auf der Bekeimungsschicht 104 ist eine grundsätzlich



beliebige Anzahl Carbon-Nanoröhren 105 aufgewachsen.

Über der nicht-leitenden Schicht 102 ist eine zweite leitende Schicht 106 aus einer Abfolge von Ti, TiN, Ta, TaN, und/oder Kupfer und/oder Aluminium abgeschieden derart, dass die Carbon-Nanoröhren 105 mit der zweiten leitenden Schicht 106 elektrisch leitend verbunden sind.

Unter Bezugnahme auf die Fig.2a bis Fig.2d werden die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung des ersten Halbleiterelements 100 näher erläutert.

In einem ersten Schritt wird auf der ersten leitenden Schicht 101 die nicht-leitende Schicht 102 z.B. mittels eines Abscheideverfahrens aus der Gasphase (Chemical Vapour Deposition- Verfahren, CVD-Verfahren) abgeschieden (vgl. Fig.2a).

Mittels einer geeigneten Maskierung der nicht-leitenden Schicht 102 und Nassätzens oder Trockenätzens der nicht-leitenden Schicht 102 wird das Loch (Kontaktloch) 103 durch die nicht-leitende Schicht 102 bis zu der Oberfläche der ersten leitenden Schicht 101 geätzt (vgl. Fig.2b).

In dem Loch 103 wird die Bekeimungsschicht 104 abgeschieden mittels eines geeigneten Verfahrens (vgl. Fig.2c), z.B. gemäß einem CVD-Verfahren. Die Bekeimungsschicht 104 weist eine Dicke von 0,1 nm bis 50 nm auf.

Die Bekeimungsschicht 104 gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel ist aus Nickel-Metallpartikeln gebildet.

In einem weiteren Schritt werden gemäß dem in [2] beschriebenen Verfahren auf der Bekeimungsschicht 104 in dem Loch 103 Carbon-Nanoröhren 105 aufgewachsen (vgl. Fig.2d).

Die Länge der Carbon-Nanoröhren 105 hängt von der Zeitdauer

ab, in der die Carbon-Nanoröhren auf der Bekeimungsschicht 104 aufgewachsen werden.

Die Carbon-Nanoröhren 105 werden so lange aufgewachsen, bis  
5 sie über das obere Ende der nicht-leitenden Schicht 102 hinausragen.

Ist dies der Fall, so wird in einem weiteren Schritt, die  
zweite leitende Schicht 106 auf der nicht-leitenden Schicht  
10 102 abgeschieden mittels eines CVD-Verfahrens oder Sputter-  
Verfahrens oder Aufdampfverfahrens.

Da die Carbon-Nanoröhren 105 über die nicht-leitende Schicht  
102 hinausragen, ragen sie unmittelbar in die zweite nicht-  
15 leitende 106 hinein. Durch ein abschließendes Chemisch  
Mechanisches Polieren (CMP-Verfahren) oder Ionenstrahlätzen  
wird die zweite leitende Schicht 106 bis zu einer gewünschten  
Dicke abgetragen.

20 Auf diese Weise ist durch die Carbon-Nanoröhren 105 eine  
elektrisch leitende Verbindung zwischen der ersten leitenden  
Schicht 101 und der zweiten leitenden Schicht 106 über die  
Bekeimungsschicht 104, die selbst auch leitende  
Metallpartikel enthält, geschaffen.

25

## Ausführungsbeispiel 2

Fig.3 zeigt einen Querschnitt eines zweiten  
30 Halbleiterelements 300 gemäß einem zweiten  
Ausführungsbeispiel.

Gleiche Elemente in den Figuren werden in dem zweiten  
Ausführungsbeispiel mit den gleichen Bezugszeichen  
35 gekennzeichnet wie die Elemente gemäß dem ersten  
Ausführungsbeispiel.

Das zweite Halbleiterelement 300 weist den grundsätzlich gleichen Aufbau auf wie das erste Halbleiterelement 100 mit dem Unterschied, dass die Bekeimungsschicht 301 gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel sich nicht nur über den Boden des Lochs 103 erstreckt, sondern dass die Bekeimungsschicht 301 über der gesamten ersten leitenden Schicht 101 vorgesehen ist.

Die einzelnen Schichten gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel sind aus denselben Materialien wie die entsprechenden Schichten gemäß dem ersten Ausführungsbeispiel.

Bezugnehmend auf die Fig.4a bis Fig.4c werden im weiteren die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung des zweiten Halbleiterelements 300 näher erläutert.

Zunächst wird auf der ersten leitenden Schicht 101 eine Bekeimungsschicht 301 aus Metallpartikeln (Nickel, Eisen, Yttrium, und/oder Kobalt) abgeschieden. Die Bekeimungsschicht 301 wird über die gesamte Oberfläche der ersten leitenden Schicht 101 abgeschieden mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens, Sputter-Verfahrens, oder Aufdampf-Verfahrens. Die Bekeimungsschicht 301 weist eine Dicke von 0,1 nm bis 50 nm auf.

Auf der Bekeimungsschicht 301 wird die nicht-leitende Schicht 102 z.B. mittels eines CVD-Verfahrens abgeschieden (vgl. Fig.4a).

Nach Ätzen des Lochs 103 in die nicht-leitende Schicht 102 bis auf die Oberfläche der Bekeimungsschicht 301, wie in Fig.4b gezeigt ist, werden die Carbon-Nanoröhren 105 auf der Bekeimungsschicht 301 gemäß dem in [2] beschriebenen Verfahren aufgewachsen.

Das Aufwachsen wird so lange durchgeführt, bis die Länge der Carbon-Nanoröhren 105 ausreicht, so dass sie über die

Oberfläche der nicht-leitenden Schicht 102 hinausragen (vgl. Fig.4c).

In einem weiteren Schritt wird die zweite leitende Schicht  
5 106 mittels eines CVD-Verfahrens auf der nicht-leitenden Schicht 102 abgeschieden.

Wiederum ist das Ergebnis ein Halbleiterelement mit einer elektrisch leitenden Verbindung mittels Carbon-Nanoröhren  
10 zwischen zwei leitenden Schichten durch ein Kontaktloch.

### Ausführungsbeispiel 3

15 Fig.5 zeigt ein drittes Halbleiterelement 500 gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel.

Gleiche Elemente des Halbleiterelements werden wiederum mit gleichem Bezugszeichen gekennzeichnet.

20 Das dritte Halbleiterelement 500 unterscheidet sich von dem zweiten Halbleiterelement 300 im wesentlichen nur dadurch, dass ein Graben 501 in die nicht-leitende Schicht 102 geätzt wird, und die Carbon-Nanoröhren 105 somit nicht über die  
25 Oberfläche der nicht-leitenden Schicht 102 hinausragt, sondern nur über den Boden des Grabens 501 in die nicht-leitende Schicht 102.

Die einzelnen Schichten des dritten Halbleiterelements 500  
30 sind aus den gleichen Materialien wie das erste Halbleiterelement 100 und das zweite Halbleiterelement 300.

Unter Bezugnahme auf die Fig.6a bis Fig.6e wird das Verfahren zur Herstellung des dritten Halbleiterelements 500 im Detail  
35 erläutert.

Wie in Fig.6a dargestellt ist, wird über der ersten leitenden

Schicht 101 die Bekeimungsschicht 301 mit einer Dicke von 0,1 nm bis 50 nm abgeschieden mittels eines geeigneten CVD-Verfahrens, Sputter-Verfahrens, oder Aufdampf-Verfahrens. Auf der Bekeimungsschicht 301 wird die nicht-leitende Schicht 102  
5 mittels eines CVD-Verfahrens abgeschieden.

In die nicht-leitende Schicht 102 wird das Loch 103 bis zur Oberfläche der Bekeimungsschicht 301 geätzt (vgl. Fig.6b).

10 Weiterhin wird in die nicht-leitende Schicht 102 ein Graben 501 mittels Trockenätzens oder Nassätzens geätzt (vgl. Fig.6c).

In einem weiteren Schritt werden die Carbon-Nanoröhren 102  
15 auf der Bekeimungsschicht 301 aufgewachsen bis zu einer Länge, dass die Carbon-Nanoröhren 102 über die untere Oberfläche des Grabens 501 hinausragen, nicht jedoch über die gesamte nicht-leitende Schicht 102 (vgl. Fig.6d).

20 Wie in Fig.6e dargestellt, wird in einem weiteren Verfahrensschritt die zweite leitende Schicht 106 in dem Graben 501 und auf der nicht-leitenden Schicht 102 mittels eines CVD-Verfahrens abgeschieden.

25 Die zweite leitende Schicht 106 wird mittels eines geeigneten Ätzverfahrens, eines Chemisch Mechanischen Polier-Verfahrens oder mittels Ionenstrahlätzens auf eine gewünschte Dicke reduziert, so dass die Oberfläche der zweiten leitenden Schicht 106 plan ist mit der Oberfläche der nicht-leitenden  
30 Schicht 102.

Im weiteren werden einige Alternativen zu dem oben dargestellten Ausführungsbeispiel erläutert:

35 Als CVD-Verfahren kann ein CVD-Verfahren unter Verwendung von Kohlenmonoxid CO, Methan CH<sub>4</sub>, oder auch Azethylen C<sub>2</sub>H<sub>2</sub> eingesetzt werden oder auch ein sogenanntes Plasma Enhanced

CVD-Verfahren.

Weiterhin ist es nicht erforderlich, dass die Carbon-Nanoröhren 105 über die Oberfläche der nicht-leitenden Schicht beziehungsweise über die Oberfläche der unteren Oberfläche des Grabens 501 hinausragen. Alternativ können die Carbon-Nanoröhren 105 auf die benötigte Länge durch Chemisch Mechanisches Polieren oder Ionenstrahlätzen unter schrägem Winkel (so dass die Ionen beim Ionenstrahlätzen nicht wesentlich in das Kontaktloch eindringen können) gebracht werden, d.h. auf eine Länge, dass die Carbon-Nanoröhren 105 zumindest die zweite leitende Schicht 106 kontaktieren.

Stehen Abschnitte der Carbon-Nanoröhren 105 über die zweite leitende Schicht hinaus, so können diese mittels eines Veraschungsprozesses, der bei Verwenden einer Lackmaske für die Metallätzung ohnehin erforderlich ist, entfernt werden. Die Carbon-Nanoröhren können auch mittels eines anisotropen Plasmaätzprozesses, wie z.B. zur Strukturierung organischer Materialien eingesetzt, auf die erforderliche Länge gebracht werden.

Die Erfindung ist nicht auf eine dreischichtige Struktur beschränkt. Das Halbleiterelement kann in jeder beliebigen Halbleiterstruktur eingesetzt werden, d.h. es kann ein Teil-Halbleiterelement eines sehr vielschichtigen Halbleiterelements darstellen zum Kontaktieren zweier leitender Schichten in dem Halbleiterelement.

Die Erfindung ist anschaulich darin zu sehen, dass zwei elektrisch leitende Schichten, die voneinander in einem Halbleiterelement durch eine nicht-leitende Schicht elektrisch entkoppelt sind, durch ein Kontaktloch mittels Carbon-Nanoröhren elektrisch miteinander leitend verbunden werden.

Auf diese Weise wird bei minimaler Abweichung bisher

bekannter üblicher Fertigungsprozesse eines Halbleiterelements eine große Stabilität des Halbleiterelements erreicht.

- 5 Außerdem sind hohe Aspektverhältnisse bei der Kontaktierung durch Kontaktlöcher möglich, bis zu einem Wert von ungefähr 1000.

- 10 Im Rahmen der Erfindung ist es alternativ ohne weiteres möglich anstelle der CVD-Verfahren auch ein Sputter-Verfahren oder ein Aufdampfverfahren einzusetzen.

In diesem Dokument sind folgende Veröffentlichungen zitiert:

- [1] C.Dekker, Carbon Nanotubes as Molecular Quantum Wires,  
Physics Today, S. 22 - 28, Mai 1999
- 5
- [2] Jung Sang Suh und Jin Seung Lee, Highly Ordered Two-  
Dimensional Carbon Nanotubes Areas, Applied Physics  
Letters, Vol. 75, Nr. 14, S. 2047 - 2049, Oktober 1999



## Patentansprüche

1. Elektronisches Bauelement mit
  - einer ersten leitenden Schicht,
  - 5 • einer nicht-leitenden Schicht auf der ersten leitenden Schicht,
  - einer zweiten leitenden Schicht auf der nicht-leitenden Schicht,
  - mindestens einem Loch durch die nicht-leitende Schicht,
  - 10 • mindestens einer Nanoröhre in dem Loch, durch die die erste leitende Schicht mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.
2. Elektronisches Bauelement nach Anspruch 1,  
15 bei dem die Nanoröhre eine Carbon-Nanoröhre ist.
3. Elektronisches Bauelement nach Anspruch 1 oder 2, bei dem mehrere Nanoröhren in dem Loch enthalten sind, durch die jeweils die erste leitende Schicht mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.  
20
4. Elektronisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 3, mit einer Bekeimungsschicht über der ersten leitenden  
25 Schicht, auf der die Nanoröhre aufwachsbar ist.
5. Elektronisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem die Bekeimungsschicht für ein Aufwachsen der Nanoröhre  
30 katalytisch wirkende Metallpartikel aufweist.
6. Elektronisches Bauelement nach Anspruch 5, bei dem die Metallpartikel mindestens eines der folgenden Metalle aufweisen:  
35
  - Nickel, und/oder
  - Eisen, und/oder
  - Yttrium, und/oder

- Kobalt, und/oder
- Platin.

5 7. Elektronisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
bei dem die nicht-leitende Schicht ein Intermetalldielektrikum aufweist.

10 8. Elektronisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
bei dem die erste und/oder die zweite leitende Schicht Metall oder eine Kombination verschiedener Metalle aufweist.

15 9. Elektronisches Bauelement nach Anspruch 8,  
bei dem die erste leitende Schicht und/oder die zweite leitende Schicht Kupfer und/oder Aluminium und/oder eine Kombination von Ta, TaN, Ti, TiN aufweist.

20 10. Elektronisches Bauelement nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
bei dem das elektronische Bauelement ein Halbleiterelement ist.

25 11. Verfahren zum Herstellen einer leitenden Verbindung in einem elektronischen Bauelement,

- bei dem über einer ersten leitenden Schicht eine nicht-leitende Schicht abgeschieden wird,
- bei dem durch die nicht-leitende Schicht ein Loch gefertigt wird,
- 30 • bei dem in dem Loch mindestens eine Nanoröhre aufgewachsen wird,
- bei dem eine zweite leitende Schicht abgeschieden wird derart, dass die erste leitende Schicht durch die Nanoröhre mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden  
35 ist.

12. Verfahren zum Herstellen eines elektronischen Bauelements,

- bei dem eine erste leitende Schicht bereitgestellt wird,
- bei dem über der ersten leitenden Schicht eine nicht-
- 5 leitende Schicht abgeschieden wird,
- bei dem durch die nicht-leitende Schicht ein Loch gefertigt wird,
- bei dem in dem Loch mindestens eine Nanoröhre aufgewachsen wird,
- 10 • bei dem eine zweite leitende Schicht abgeschieden wird derart, dass die erste leitende Schicht durch die Nanoröhre mit der zweiten leitenden Schicht leitend verbunden ist.

15 13. Verfahren nach Anspruch 11 oder 12, bei dem das Loch durch die nicht-leitende Schicht geätzt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 oder 13,

20 bei dem als Nanoröhre eine Carbon-Nanoröhre verwendet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 14, bei dem mehrere Nanoröhren in dem Loch aufgewachsen werden, durch die jeweils die erste leitende Schicht mit der zweiten

25 leitenden Schicht leitend verbunden ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 15,

- bei dem zumindest in der Fläche des Lochs auf der ersten leitenden Schicht eine Bekeimungsschicht aufgebracht wird,
- 30 • bei dem auf der Bekeimungsschicht in dem Loch die Nanoröhre aufgewachsen wird,

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 16, bei dem für die Bekeimungsschicht für ein Aufwachsen der

35 Nanoröhre katalytisch wirkende Metallpartikel verwendet werden.

18. Verfahren nach Anspruch 17,  
bei dem als Metallpartikel mindestens eines der folgenden Metalle verwendet wird:

- Nickel, und/oder
- 5 • Eisen, und/oder
- Yttrium, und/oder
- Kobalt, und/oder
- Platin.

10 19. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 18,  
bei dem für die nicht-leitende Schicht ein Intermetalldielektrikum verwendet wird.

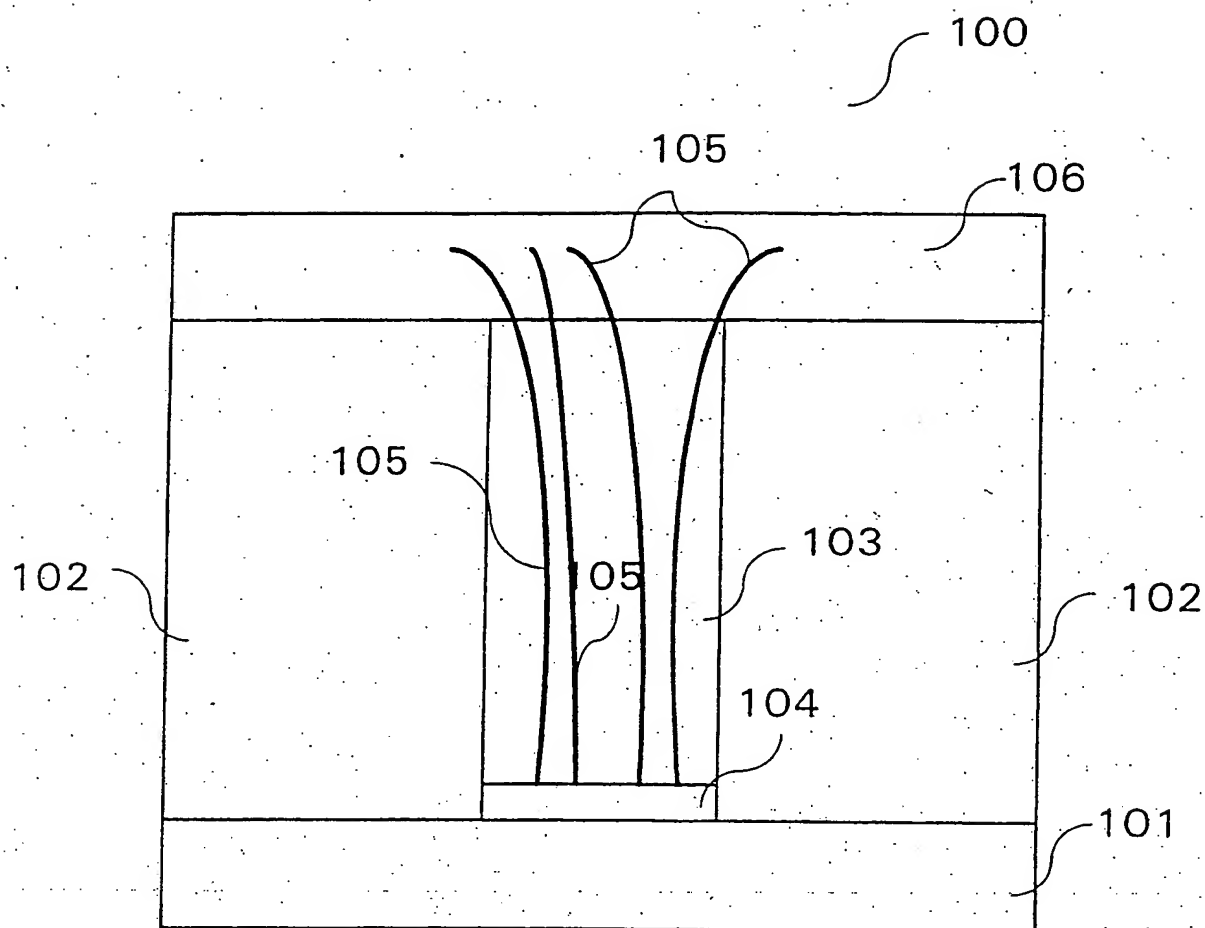
15 20. Verfahren nach einem der Ansprüche 11 bis 19,  
bei dem für die erste und/oder die zweite leitende Schicht Metall verwendet wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20,  
bei dem für die erste leitende Schicht und/oder die zweite

20 leitende Schicht Kupfer und/oder Aluminium und/oder eine Kombination von Ta, TaN, Ti, TiN verwendet wird/werden.

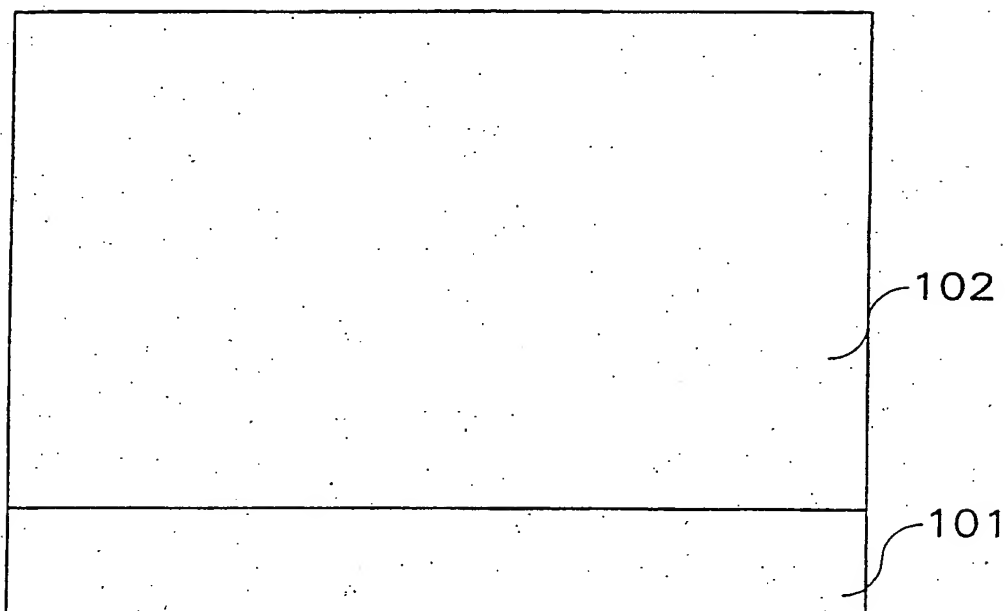
1/15

FIG 1



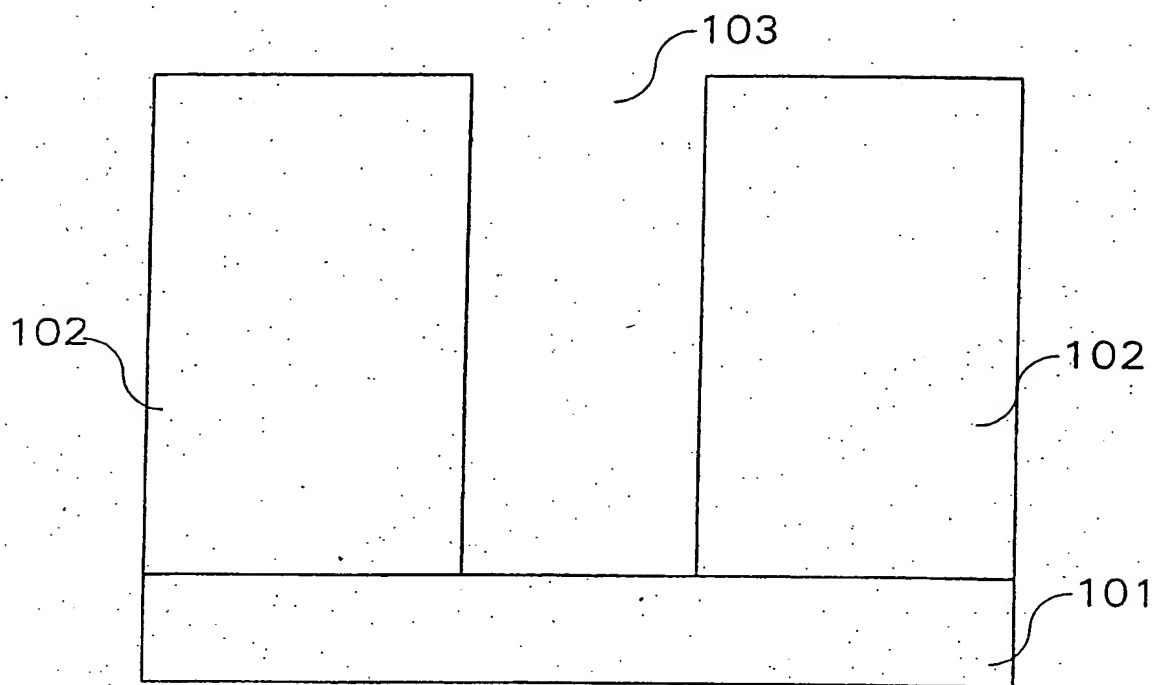
2/15

**FIG 2A**



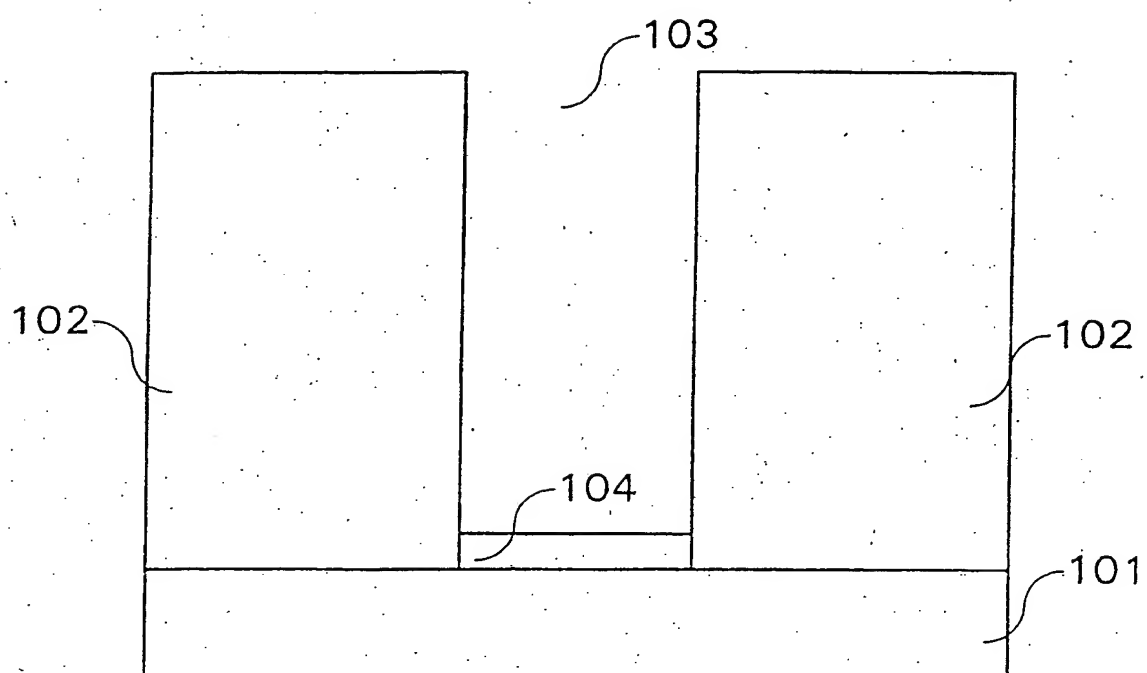
3/15

FIG 2B



4/15

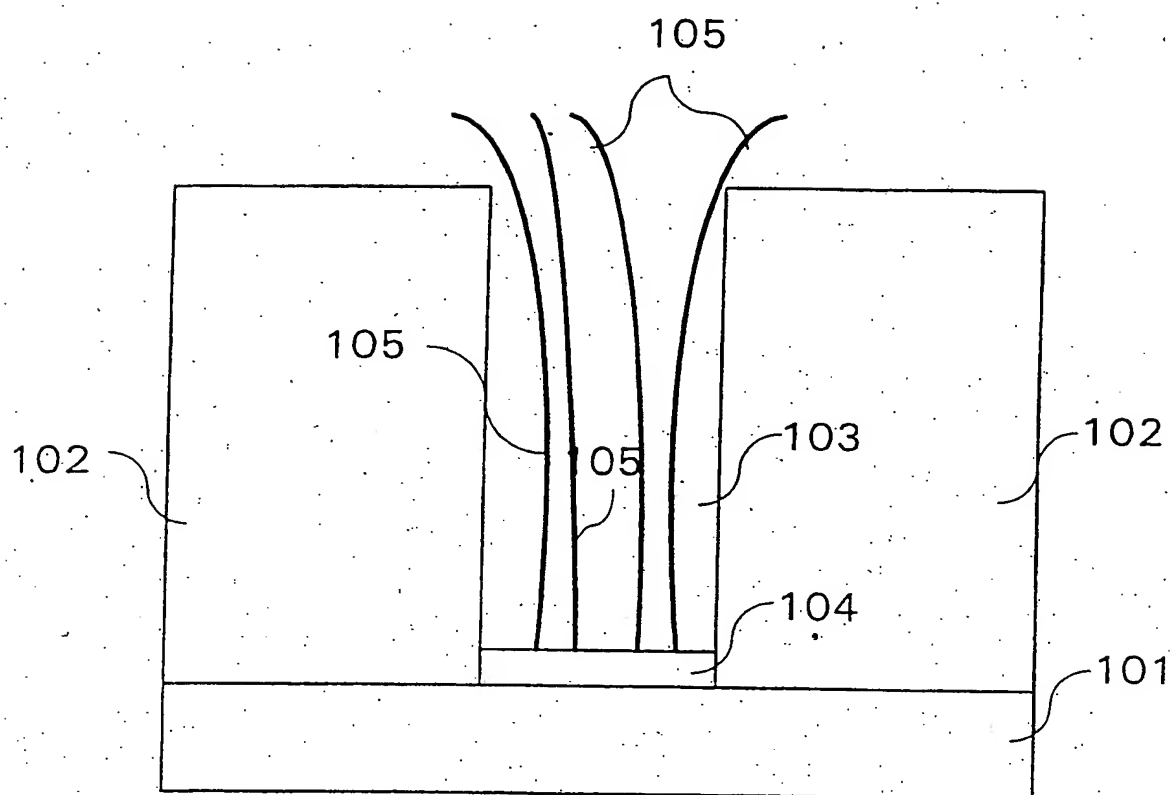
FIG 2C





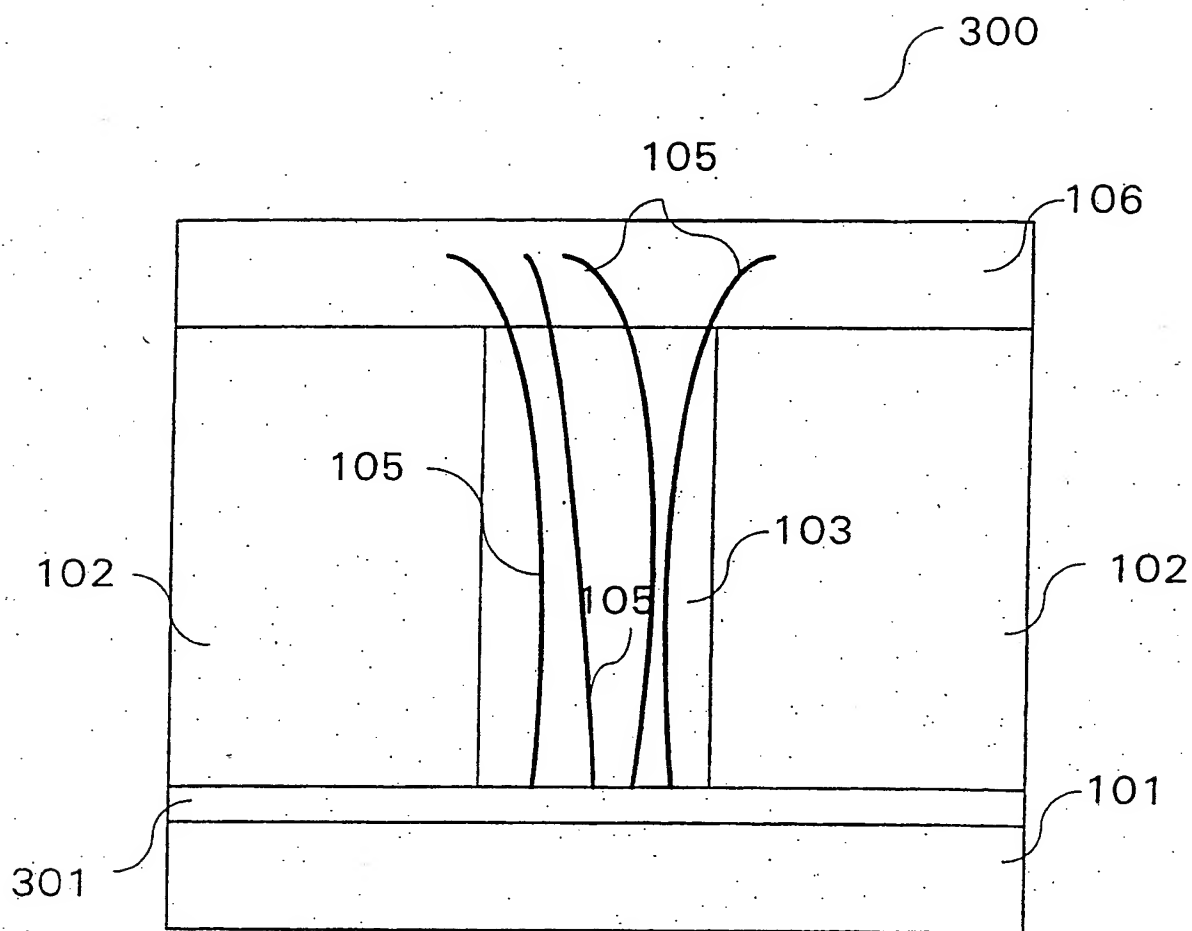
5/15

FIG 2D



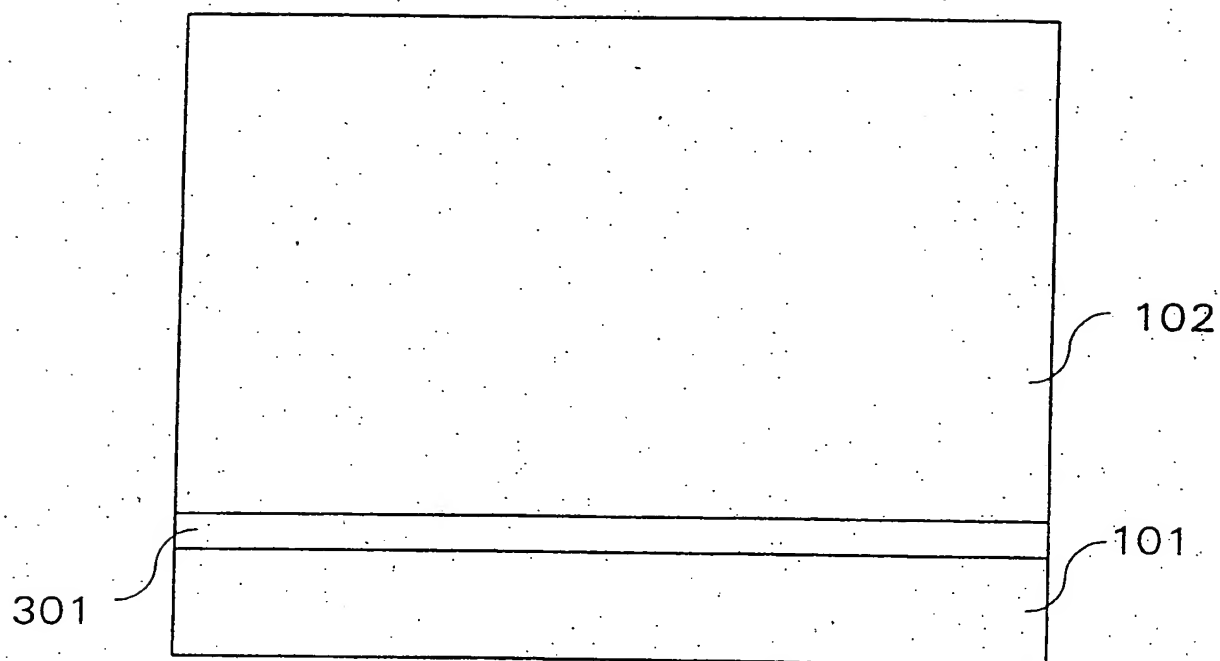
6/15

FIG 3



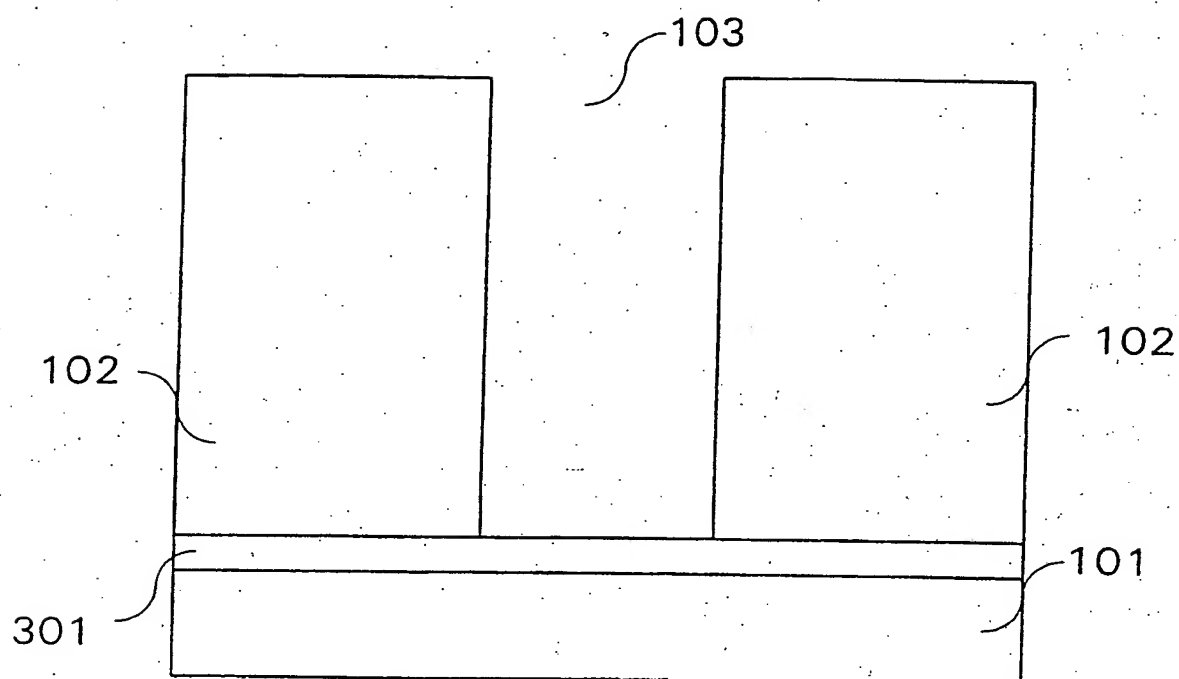
7/15

FIG 4A



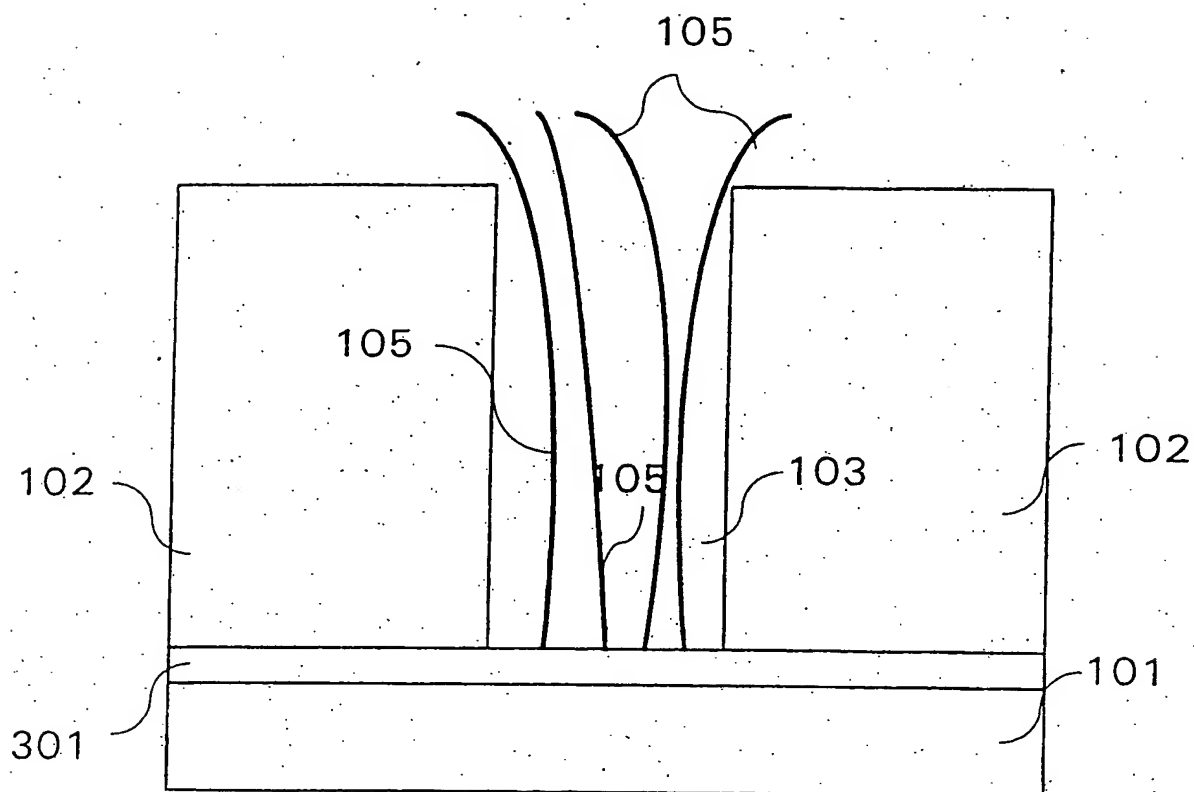
8/15

FIG 4B.



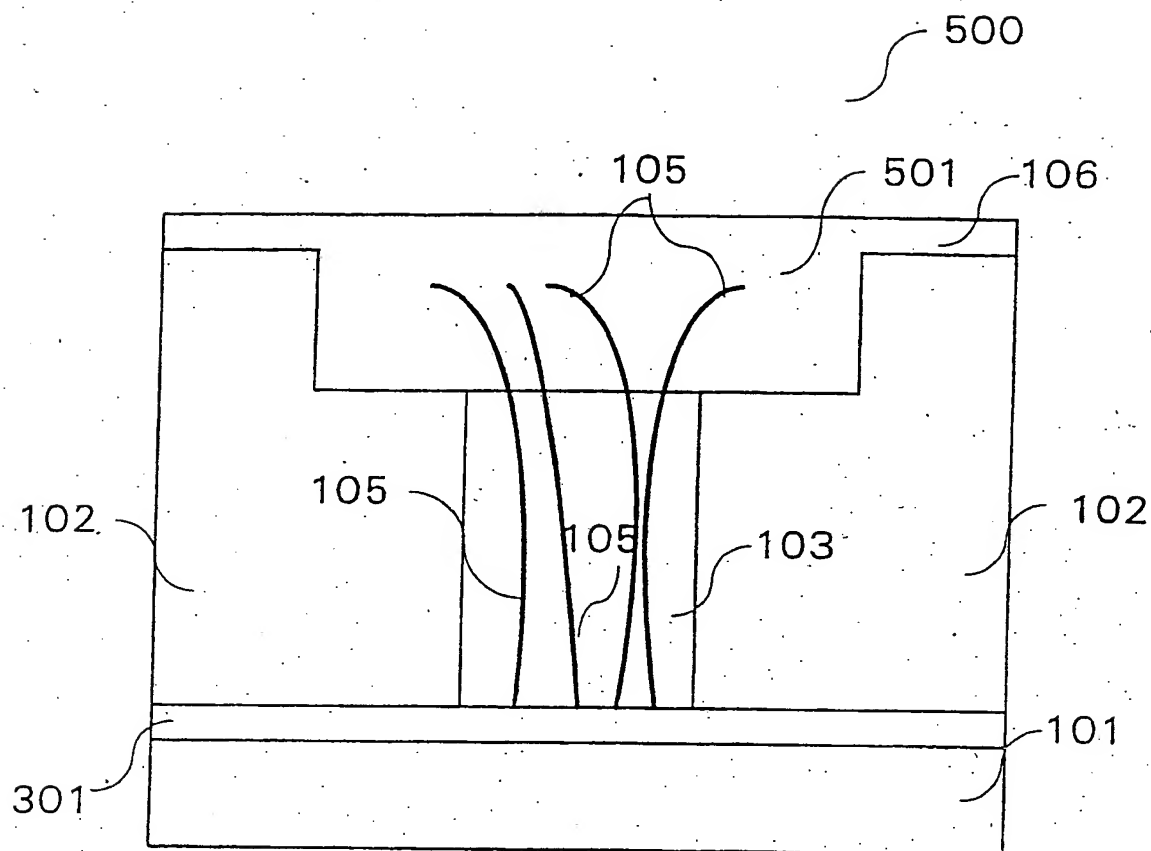
9/15

FIG 4C



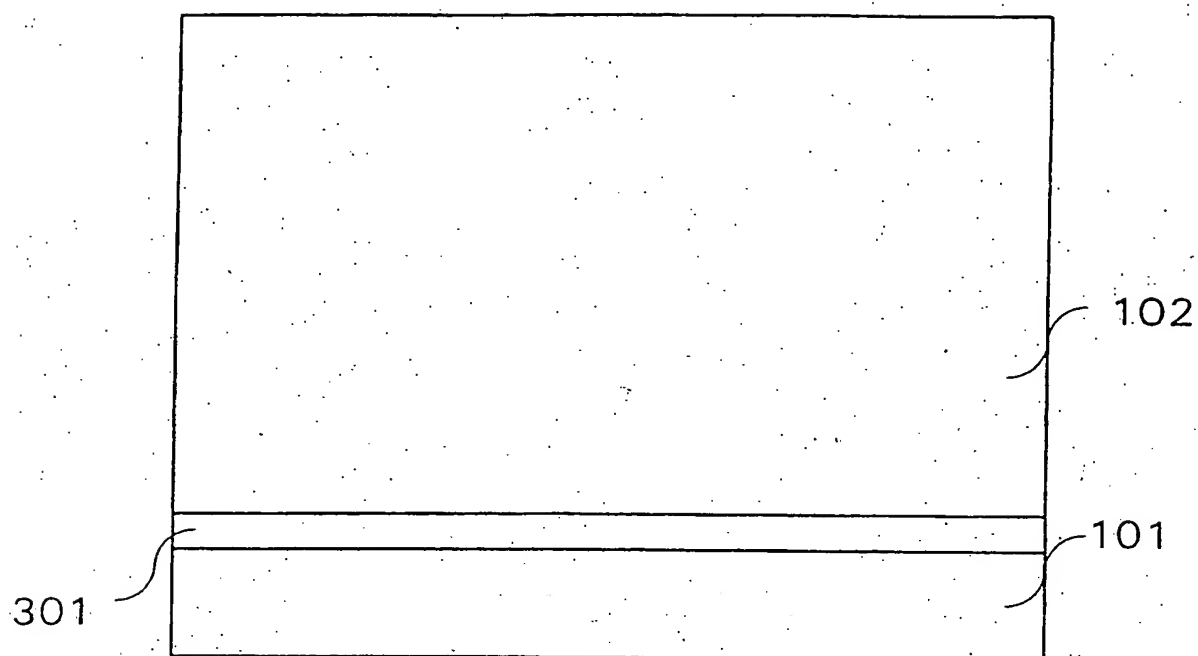
10/15

FIG 5



11/15

FIG 6A



12/15

FIG 6B

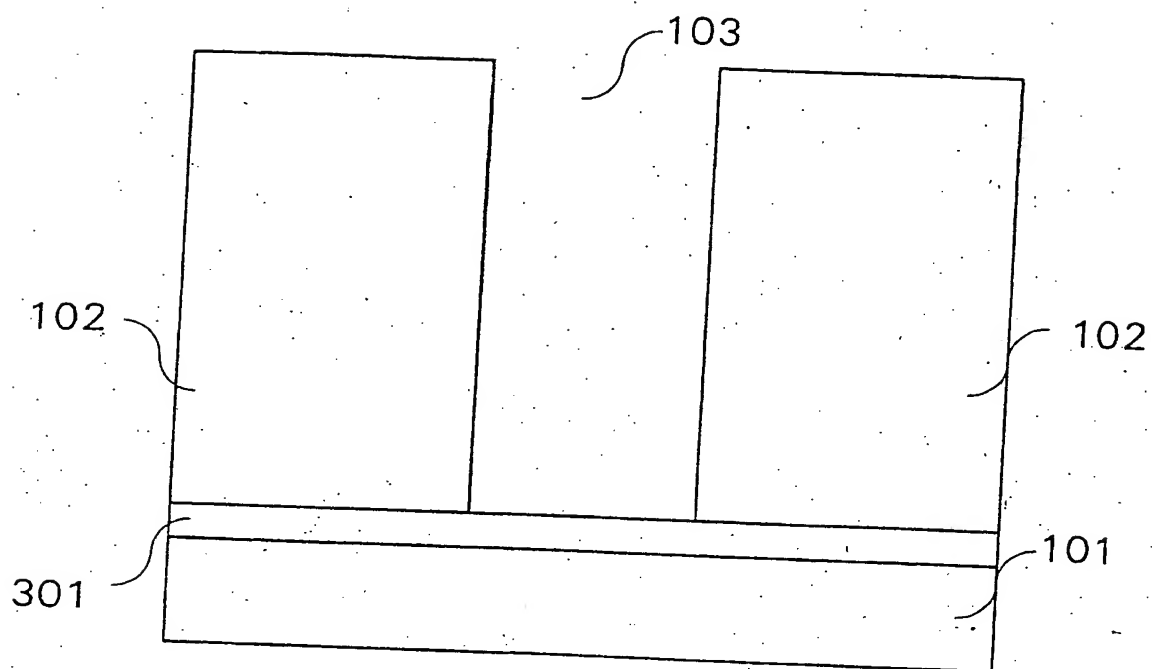




FIG 6C

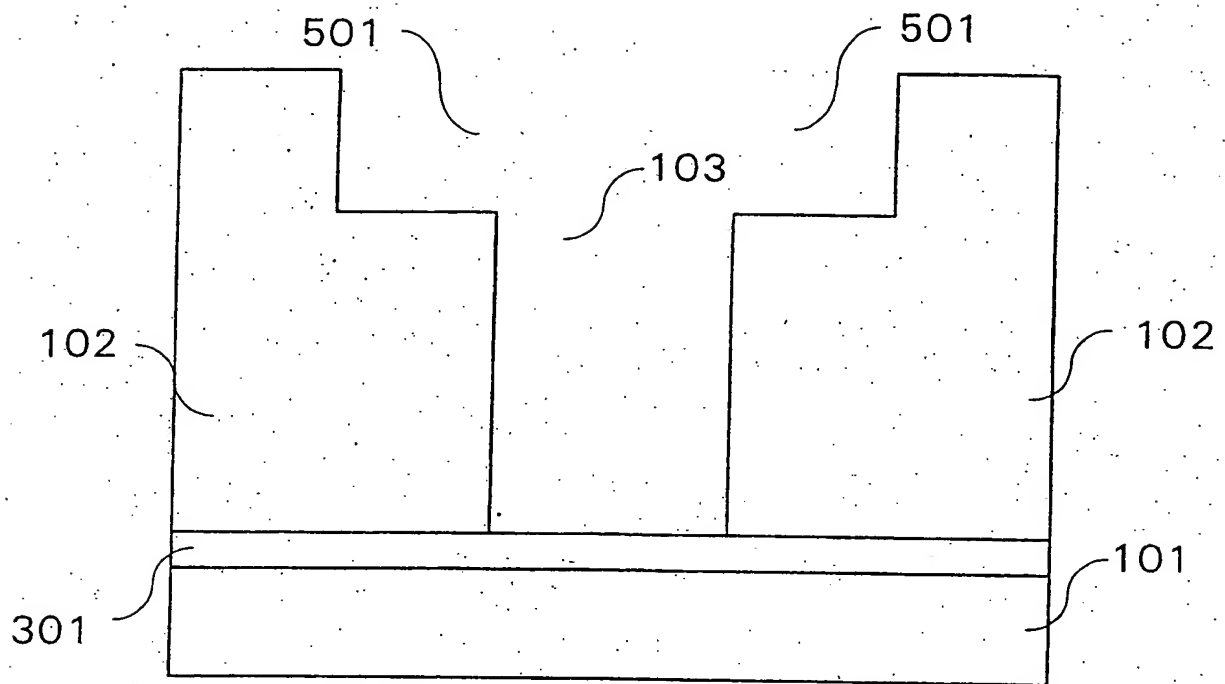


FIG 6D

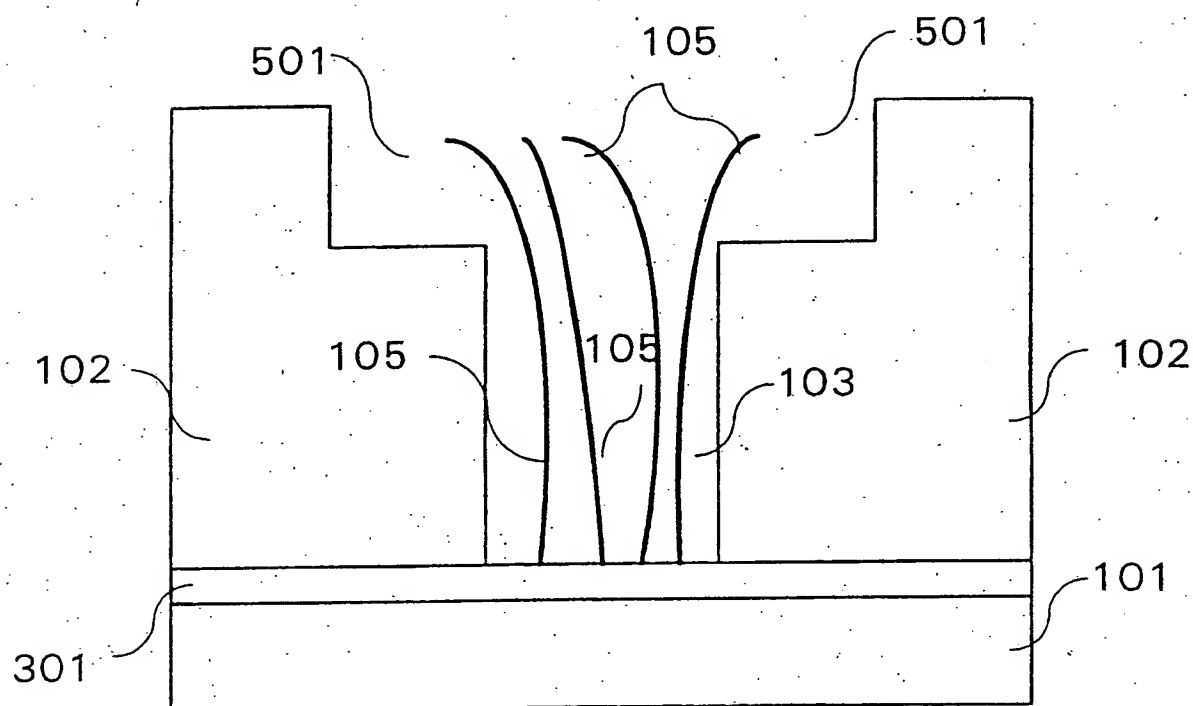
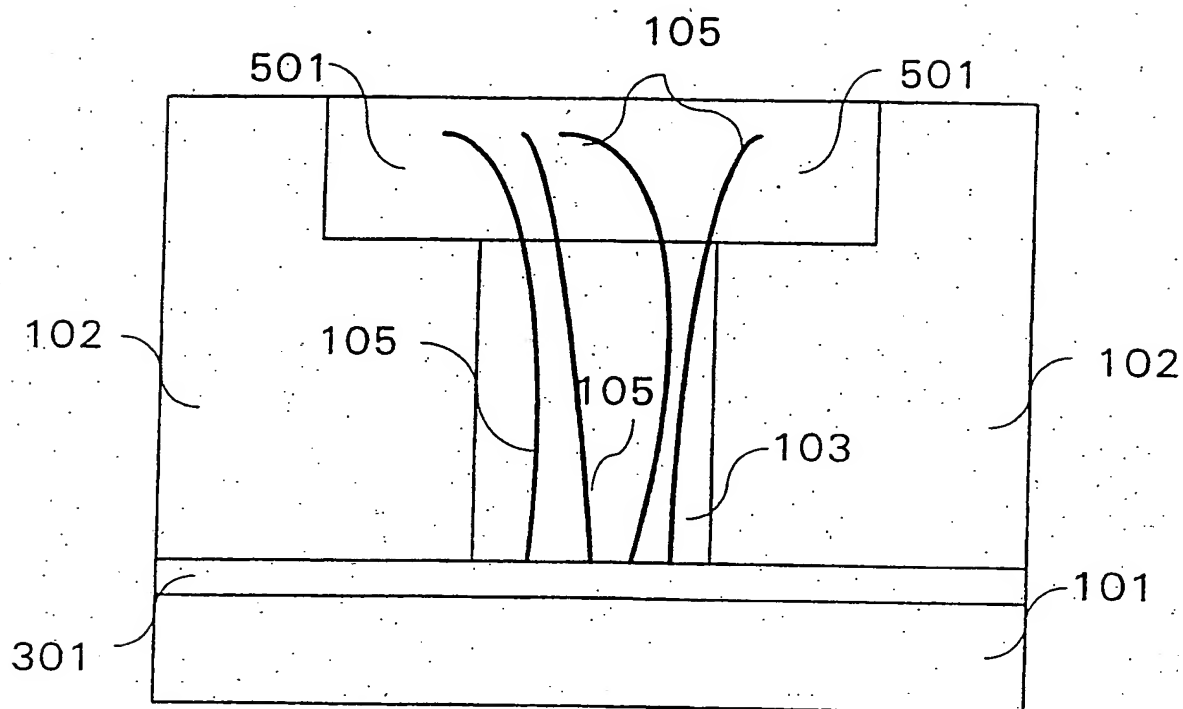


FIG 6E



## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No.

PCT/DE 01/00419

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
IPC 7 H01L23/498 D01F9/12

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H01L D01F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 726 621 A (AT & T CORP) 14 August 1996 (1996-08-14)	1,2,8
Y	column 2, line 45 -column 6, line 36; figure 5A	4-7, 9-14, 16-21
X	US 5 818 700 A (PURINTON DONALD L) 6 October 1998 (1998-10-06)	1,8
Y	column 2, line 17 -column 9, line 42; figure 5	4-7, 9-14, 16-21
Y	EP 0 913 508 A (CANON KK) 6 May 1999 (1999-05-06)	4-7, 9-14, 16-21
	column 9, line 12 -column 16, line 45; figure 5	
	--- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents:

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier document but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

\*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

22 June 2001

Date of mailing of the international search report

18/07/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Edmeades, M

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

T/DE 01/00419

## C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	MARTIN C R: "TEMPLATE SYNTHESIS OF POLYMERIC AND METAL MICROTUBULES" ADVANCED MATERIALS, DE, VCH VERLAGSGESELLSCHAFT, WEINHEIM, vol. 3, no. 9, 1 September 1991 (1991-09-01), pages 457-459, XP000329351 ISSN: 0935-9648 the whole document	1-21
A	EP 0 918 354 A (TEXAS INSTRUMENTS INC) 26 May 1999 (1999-05-26) column 13, line 3-55; figure 12	10
A	DEKKER C: "CARBON NANOTUBES AS MOLECULAR QUANTUM WIRES" PHYSICS TODAY, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, NY, US, vol. 52, no. 5, May 1999 (1999-05), pages 22-28, XP000999906 ISSN: 0031-9228 the whole document	2, 14

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 01/00419

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0726621	A	14-08-1996	US 5698496 A	16-12-1997
			DE 69608148 D	15-06-2000
			DE 69608148 T	28-09-2000
			JP 8255520 A	01-10-1996
US 5818700	A	06-10-1998	NONE	
EP 0913508	A	06-05-1999	JP 11194134 A	21-07-1999
EP 0918354	A	26-05-1999	JP 11238833 A	31-08-1999

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 H01L23/498 D01F9/12

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RESEARCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 H01L D01F

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal

C. ALS WESENTLICH ANGEGEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 726 621 A (AT & T CORP) 14. August 1996 (1996-08-14)	1,2,8
Y	Spalte 2, Zeile 45 -Spalte 6, Zeile 36; Abbildung 5A	4-7, 9-14, 16-21
X	US 5 818 700 A (PURINTON DONALD L) 6. Oktober 1998 (1998-10-06)	1,8
Y	Spalte 2, Zeile 17 -Spalte 9, Zeile 42; Abbildung 5	4-7, 9-14, 16-21
Y	EP 0 913 508 A (CANON KK) 6. Mai 1999 (1999-05-06)	4-7, 9-14, 16-21
	Spalte 9, Zeile 12 -Spalte 16, Zeile 45; Abbildung 5	
	---	
	--- -/--	

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

☒ Siehe Anhang Patentfamilie

\* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen

\*A\* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

\*E\* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

\*L\* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

\*O\* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

\*P\* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

\*T\* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

\*X\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

\*Y\* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

\*Z\* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

22. Juni 2001

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/07/2001

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl.  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Edmeades, M

## C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	MARTIN C R: "TEMPLATE SYNTHESIS OF POLYMERIC AND METAL MICROTUBULES" ADVANCED MATERIALS, DE, VCH VERLAGSGESELLSCHAFT, WEINHEIM, Bd. 3, Nr. 9, 1. September 1991 (1991-09-01), Seiten 457-459, XP000329351 ISSN: 0935-9648 das ganze Dokument	1-21
A	EP 0 918 354 A (TEXAS INSTRUMENTS INC) 26. Mai 1999 (1999-05-26) Spalte 13, Zeile 3-55; Abbildung 12	10
A	DEKKER C: "CARBON NANOTUBES AS MOLECULAR QUANTUM WIRES" PHYSICS TODAY, AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS, NEW YORK, NY, US; Bd. 52, Nr. 5, Mai 1999 (1999-05), Seiten 22-28, XP000999906 ISSN: 0031-9228 das ganze Dokument	2, 14



# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentl. die zur selben Patentfamilie gehören

nationales Aktenzeichen

DE 01/00419

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
EP 0726621	A	14-08-1996	US	5698496 A	16-12-1997
			DE	69608148 D	15-06-2000
			DE	69608148 T	28-09-2000
			JP	8255520 A	01-10-1996
US 5818700	A	06-10-1998	KEINE		
EP 0913508	A	06-05-1999	JP	11194134 A	21-07-1999
EP 0918354	A	26-05-1999	JP	11238833 A	31-08-1999

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**